

## Воздействие разряда молнии на линию электропередачи в условиях многолетней мерзлоты

**Попова Алёна Аркадьевна**

*Борисова Марфа Николаевна, Лонгинова Виктория Яновна*

*Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова*

*Григорьев Юрий Михайлович, д.ф.-м.н.*

*alyona-neka@mail.ru*

При грозовой активности даже при отсутствии прямого попадания молнии на магистральных линиях передач возникают токи и напряжения. Такие токи и напряжения являются индуцированными (наведенными). Индуцированные напряжения состоят из двух компонент – электромагнитной и электростатической. Общепринятые методы приближенного расчета индуцированных перенапряжений в воздушных линиях основаны только на учете электромагнитного поля, излучаемого каналом молнии.

В данной работе представлена математическая модель электростатической компоненты индуцированных грозовых напряжений, называемой волной тока и напряжения (ВТН), в однопроводной линии в условиях многолетней мерзлоты. Математическая модель сводится к решению начально-краевых задач для обобщенной системы телеграфных уравнений. Наличие многолетней мерзлоты учитывается с помощью специальных начальных условий.

Для определения силы тока  $i(x, t)$  и напряжения  $u(x, t)$  в линии передачи при предположении о мгновенном характере разряда молнии получаем следующую начально-краевую задачу:

$$\begin{cases} u_x + Li_t + Ri = 0, \\ i_x + Cu_t + Gu = 0, \\ i(x, 0) = 0, \\ u(x, 0) = f(x), \\ i(-s, t) = -\frac{u(-s, t)}{R_g}, \\ i(s, t) = \frac{u(s, t)}{R_g}, \end{cases} \quad -s < x < s, \quad t > 0,$$

где  $R, L, C, G$  – погонные электрические параметры линии длиной  $2s$ , заземленной в начале и в конце линии через сосредоточенное сопротивление  $R_g$ , которое берется равным волновому сопротивлению линии; грозовое облако моделируется точечным зарядом  $Q$ , расположенным на высоте  $H$  над линией; линия передачи расположена на высоте  $d$  над слоем многолетней мерзлоты толщиной  $l$ , под слоем мерзлоты находится проводящее полупространство; ось  $x$  направлена вдоль проводника, начало координат находится под облаком;  $\varepsilon_2$  – диэлектрическая проницаемость многолетнемерзлых грунтов;  $f(x)$  – потенциал точечного заряда  $Q$  в трехслойной среде, взятый со знаком минус, найденный методом электростатических изображений:

$$f(x) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_1} \left( \frac{1}{\sqrt{x^2 + (-H+d)^2}} - \beta^2 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k \beta^{2k}}{\sqrt{x^2 + (H+d+2lk)^2}} - \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k \beta^{2k}}{\sqrt{x^2 + (H+d+2l+2lk)^2}} \right), \text{ где:}$$

$$\beta^2 = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 + \varepsilon_1} < 1.$$

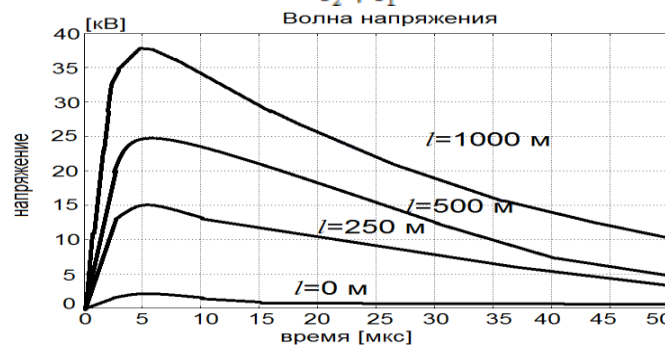


рис. 1 График волны напряжения в точке  $x=s$  при разных толщинах многолетней мерзлоты  $l$  (от 0 – 1000 м); мерзлый грунт – песок мелкозернистый с влажностью  $W_c = 9\%$ , температура  $t = -20^\circ\text{C}$ , диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon_2 = 3$ .

Численными расчетами оценены величины ВТН в линии передачи для различных параметров мерзлых пород. С увеличением толщины многолетней мерзлоты величины ВТН растут, с увеличением диэлектрической проницаемости мерзлоты параметры ВТН уменьшаются. Результаты вычислительной реализации моделей показывают, что в условиях многолетней мерзлоты величины электростатической компоненты наведенных перенапряжений сравнимы с электромагнитной компонентой. Для примера приведены графики волны напряжения при разных толщинах многолетней мерзлоты  $l$ , показывающие, что с ростом толщины многолетней мерзлоты напряжение увеличивается до 40 кВ (рис. 1).